

1. ВСТУП

Курсова робота повинна включати розробку системи керування електровоза з розрахунком характеристик пуску і електричного гальмування та вибору основного електроустаткування електровоза. Контрольна робота повинна містити розрахунок зовнішньої характеристики і параметрів випрямляючої установки. Для виконання курсової роботи слід керуватися розділами 2, 3 та 4 даних методичних вказівок. При виконанні контрольної роботи керуються розділом 5. Варіант завдання для виконання курсової роботи вибирається з додатка А, таблиця А.1 і за вказівкою викладача, а для виконання контрольної роботи – з додатка А, таблиця А.2.

Курсова робота подається до захисту у виді пояснювальної записки і графічної частини. Пояснювальна записка містить у собі такі розділи:

- розрахунок ступенів пускових резисторів при пуску електровоза;
- компоновання пускових резисторів і тепловий розрахунок секцій;
- розрахунок ступенів гальмівних резисторів при електричному гальмуванні;
- розробку силової схеми електровоза;

Графічна частина курсової роботи містить у собі:

- лист міліметрового паперу, на якому виконується графічний розрахунок ступеней пускового і гальмівного реостата і будуються пускова і гальмівна діаграма. Допускається графічний розрахунок пускового та гальмівного режимів наводити на окремих листах міліметрового паперу формату А1 (594x841);
- лист креслення формату А1 (594x841) із силовою схемою спроектованого електровоза.

Контрольна робота містить у собі такі розділи:

- розрахунок зовнішніх характеристик випрямляючої установки;
- розрахунок числа послідовно включених вентилів плеча моста;
- розрахунок числа паралельно включених вентилів у плечі моста;
- перерахунок швидкісних характеристик;
- розробку вузла кола керування.

Графічна частина контрольної роботи представляє лист креслення формату А4 (210x297) із схемою вузла керування.

Пояснювальна записка повинна бути написана на одній стороні паперу формату А4 (210x297). У текст записки повинні входити стислі обґрунтування обраних рішень і необхідні пояснення до розрахунків, розрахункові формули й отримані результати. Не рекомендується переписувати текст з методичних вказівок і іншої літератури. Результати графічного розрахунку повинні бути обов'язково наведені в тексті пояснювальної записки.

Після кожного розділу необхідно навести висновки щодо виконаних розрахунків. Наприкінці наводяться загальні висновки.

Рисунки рекомендується виконувати олівцем на міліметровому папері формату А4 (210x297). Для графічних розрахунків рекомендуються такі масштаби: струм – 1 А/мм, швидкість – 0,2 (км/г)/мм, опір - 0,01 Ом/мм.

Креслення повинні бути узгоджені з розрахунком. Умовні позначення на електричних схемах повинні відповідати вимогам ЄСКД і стандартам України.

2. ВИБІР РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ТА ПЕРЕРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ

2.1. Вибір розрахункової схеми

У даний час силові схеми електровозів подвійного живлення виконуються у різноманітних варіантах. В електровозі подвійного живлення, що проектується, пропонується застосовувати схему, аналогічну схемі електровоза ВЛ82 або ВЛ82^М. У даному випадку устаткування постійного струму (пускові опори і пов'язані з ними апарати) використовуються також і для регулювання швидкості при роботі на змінному струмі, а випрямляюча установка при цьому забезпечує постійну напругу. Це помітно зменшує масу і вартість трансформатора. Відповідно до заданої осьової формули студент повинен визначитися з кількістю з'єднань електровоза та величиною напруги на кожному з'єднанні. У разі проектування восьмивісного електровоза припускається прийняти до розрахунку одну секцію, вважаючи, що електровоз складається з двох ідентичних секцій. Розрахункову схему зобразити на окремому рисунку.

2.2. Перерахунок характеристик тягового електродвигуна

Характеристики заданого тягового двигуна $v=f(I)$ і $F=f(I)$ вибираються з [5] і [6] у цифровому вигляді наводяться у пояснювальній записці, а потім будуються на міліметровому папері формату А4.

Перерахунок швидкісної характеристики для напруги, яка відрізняється від номінальної, виконуються для ряду значень струму двигуна за формулою:

$$v = v_n \frac{U_k - I \cdot R_{дв}}{U_n - I \cdot R_{дв}}, \quad (1)$$

де v_n – швидкість електровоза при номінальній напрузі, км/год; U_n – номінальна напруга тягового двигуна на вищому з'єднанні, В; U_k – напруга на колекторі тягового двигуна для даного з'єднання, В; I – значення струмів тягового двигуна, А; $R_{дв}$ – опір обмоток двигунів, Ом.

Значення опорів обмоток тягових двигунів можна прийняти з додатку А.

Перераховані швидкісні характеристики повного поля і при ослабленні збудження наносяться на графік. Характеристика сили тяги $F=f(I)$, що не залежать від напруги, при цьому не змінюється.

Швидкісні характеристики є основою для розрахунку ступенів пускового реостата, а залежність $F=f(I)$ використовується для розрахунку маневрових позицій електровоза.

2.3. Визначення максимального пускового струму

Для пасажирських електровозів величина максимального струму тягового двигуна I_{\max} обмежується комутаційною стійкістю тягових двигунів і вибирається в таких межах

$$I_{\max} \leq (1.6 \div 1.8) \cdot I_{д.год} \quad (2)$$

де $I_{д.год}$ – струм тягового двигуна в годинному режимі, А.

Для визначення максимального пускового струму ТЕД вантажних електровозів на графіку електромеханічних характеристик двигуна будується обмеження по зчепленню коліс з рейками. Для цього визначаємо допустиме

значення сили тяги двигуна при пуску F_{\max} за умови зчеплення колеса з рейкою для кількох значень при різних швидкостях від $v = 0$ до $v = v_{\text{ГОД}}$

$$F_{\max} = P \cdot \psi_k \quad (3)$$

де P – навантаження від колісної пари на рейки, кН;

ψ_k – розрахунковий коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою:

$$\psi_k = 0,28 + \frac{3}{50 + 20 \cdot v} - 0,0007 \cdot v, \quad (4)$$

Результати розрахунку значень обмеження сили тяги по зчепленню пропонується звести в таблицю.

Точка перетину кривої обмеження по зчепленню зі швидкісною характеристикою паралельного з'єднання дає значення максимального пускового струму.

2.4. Визначення мінімального пускового струму

За відомою величиною максимального струму і заданим коефіцієнтом нерівномірності по струму $K_{H(I)}$ із виразу

$$K_{H(I)} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (5)$$

де $K_{H(I)}$ - коефіцієнт нерівномірності пуску по струму, одержуємо:

$$I_{\min} = \frac{I_{\max} - K_{H(I)} \cdot I_{\max}}{1 + K_{H(I)}}. \quad (6)$$

2.5. Розрахунок розгінних ступенів пускових опорів

Розрахунок проводиться графоаналітичним методом, в основу якого покладена прямолінійна залежність розміру пускового опору від швидкості при постійному значенні пускового струму $I_{\text{п}} = \text{const}$.

$$R_p = R_0 \left(1 - \frac{v}{v_a} \right) \quad (7)$$

де R – поточне значення опору пускового реостата, Ом;

R_0 – опір реостата при $v = 0$, Ом;

v – поточне значення швидкості, км/год;

v_a – швидкість виходу на природну (автоматичну) характеристику при струмі $I_{\text{п}}$, км/год.

Графічна побудова проводиться на міліметровому папері формату А1, в рекомендованих масштабах.

У правому квадранті наносяться швидкісні характеристики тягового двигуна $v=f(I)$ для різних з'єднань і проводяться вертикалі, що відповідають струмам I_{\max} і I_{\min} .

У лівому квадранті будують обмежуючі лінії, що відповідають залежності $v=f(R)$ при постійних значеннях пускового струму рівних I_{\max} і I_{\min} . Кожна лінія може бути побудована за двома точками, із яких одна відповідає швидкості $v=0$ км/г, а друга - умові, коли $R_p=0$ Ом, тобто умові виходу на природну характеристику.

Опір R_0 при $v = 0$ км/г визначається таким способом:

$$\text{при } I_{\text{п}} = I_{\max} = \text{const} \quad R'_0 = \frac{U_k}{I_{\max}} - R_{\text{дв}}, \quad (8)$$

$$\text{при } I_{\Pi} = I_{\min} = \text{const} \quad R_o'' = \frac{U_k}{I_{\min}} - R_{\text{дв}}, \quad (9)$$

де U_k – напруга на колекторі ТД $U_k = \frac{U_c}{n_c}$, В;

U_c – номінальна напруга в контактній мережі, В;

n_c – кількість двигунів, з'єднаних послідовно.

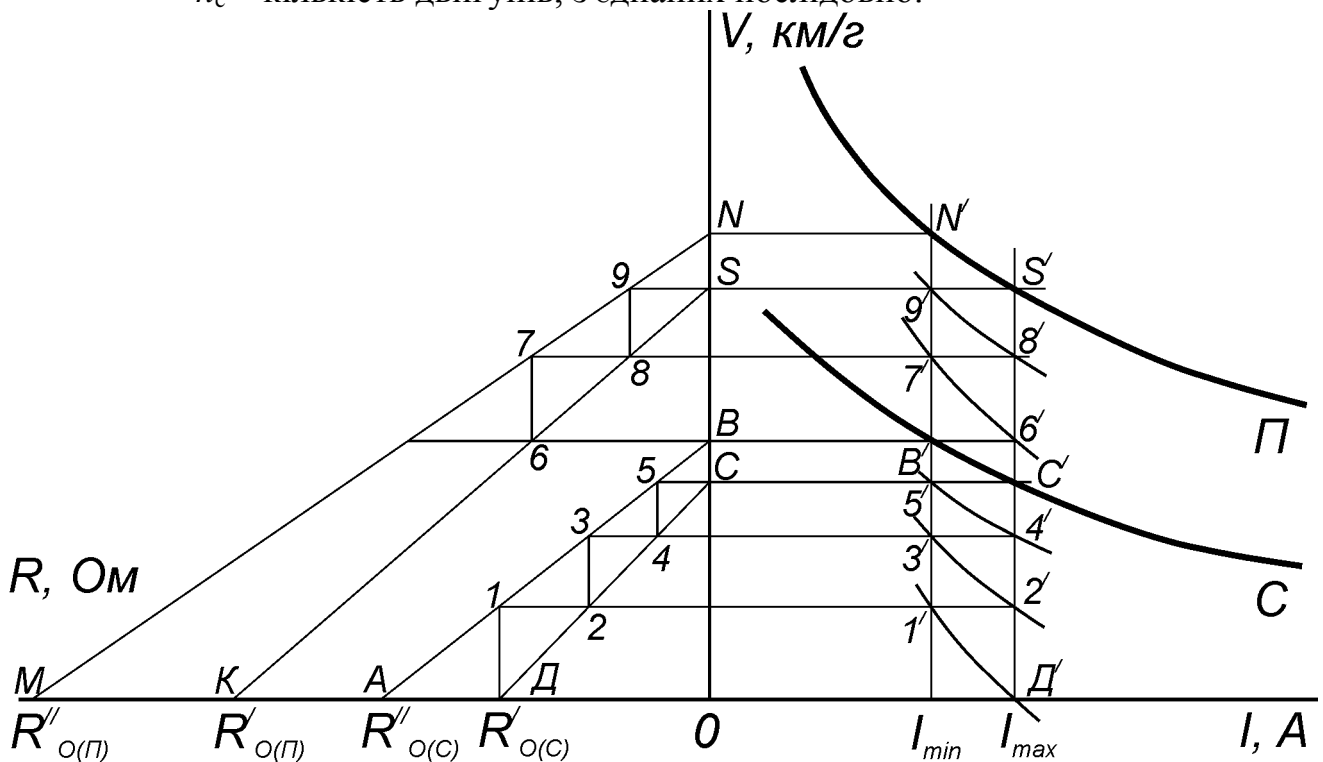


Рис.1. Розрахунок розгінних ступенів

На рис. 1 показані залежності $v=f(R)$, побудовані для послідовного і паралельного з'єднань (відповідно лінії АВ, СД і MN, KS).

Ступені пускових опорів при послідовному з'єднанні двигунів визначаються шляхом побудови ламаної лінії («драбини») Д-1-2-3-4-5-С у границях, обмежених прямими АВ і СД.

Отримані ступені, перенесені в правий квадрант діаграми, дадуть межі коливання пускового струму у виді ламаної лінії Д'-1'-2'-3'-4'-5'-С'.

Після виведення пускових опорів тягові двигуни працюють на автоматичній характеристиці, що відповідає послідовному з'єднанню. При збільшенні швидкості струм знижується до розміру I_{\min} , що на графіку відповідає точці В'. Щоб при подальшому розгоні пусковий струм не знижувався нижче I_{\min} , у точці В' переходять на паралельне з'єднання тягових двигунів. При цьому пусковий струм повинний збільшитися до I_{\max} , що досягається введенням опору, рівного відрізка В-6.

Ступені пускового реостата, необхідні при розгоні на паралельному з'єднанні тягових двигунів, визначаються ламаною лінією 6-7-8-9-С. Таким способом проводиться графоаналітичний розрахунок розмірів ступенів і секцій реостата для однієї тягової машини при перегрупуваннях тягових двигунів засобами короткого замикання, шунтування і при вентильному переході.

2.6. Побудова реостатних характеристик

За розміром опорів на кожній позиції, будуються розгінні (реостатні) характеристики $v=f(I)$. Їх можна одержати з даних аналітичного розрахунку,

підставляючи різноманітні значення струму I_{Π} і відповідного їм значення $c\Phi$ у формулу

$$v_i = \frac{U_k - I \cdot (R_i + R_{дв})}{c\Phi}, \quad (10)$$

де R_i - опір пускового реостата на i -й позиції, Ом.

Найбільш зручний і доцільний графічний спосіб побудови швидкісних реостатних характеристик, що дозволяє значно скоротити обчислення і спростити розрахунок.

На безреостатній характеристиці $v=f(I)$ (рисунок 2) довільно вибирають декілька точок (бажано рівномірно, наприклад, точки А, В, С, Д). Для струмів, що відповідають цим точкам (I_A, I_B, I_C, I_D), розраховуються розміри R_o при $v=0$.

$$R_o = \frac{U_k}{I_i} - R_{дв}, \quad (11)$$

і будуються допоміжні лінії $R=f(I)$.

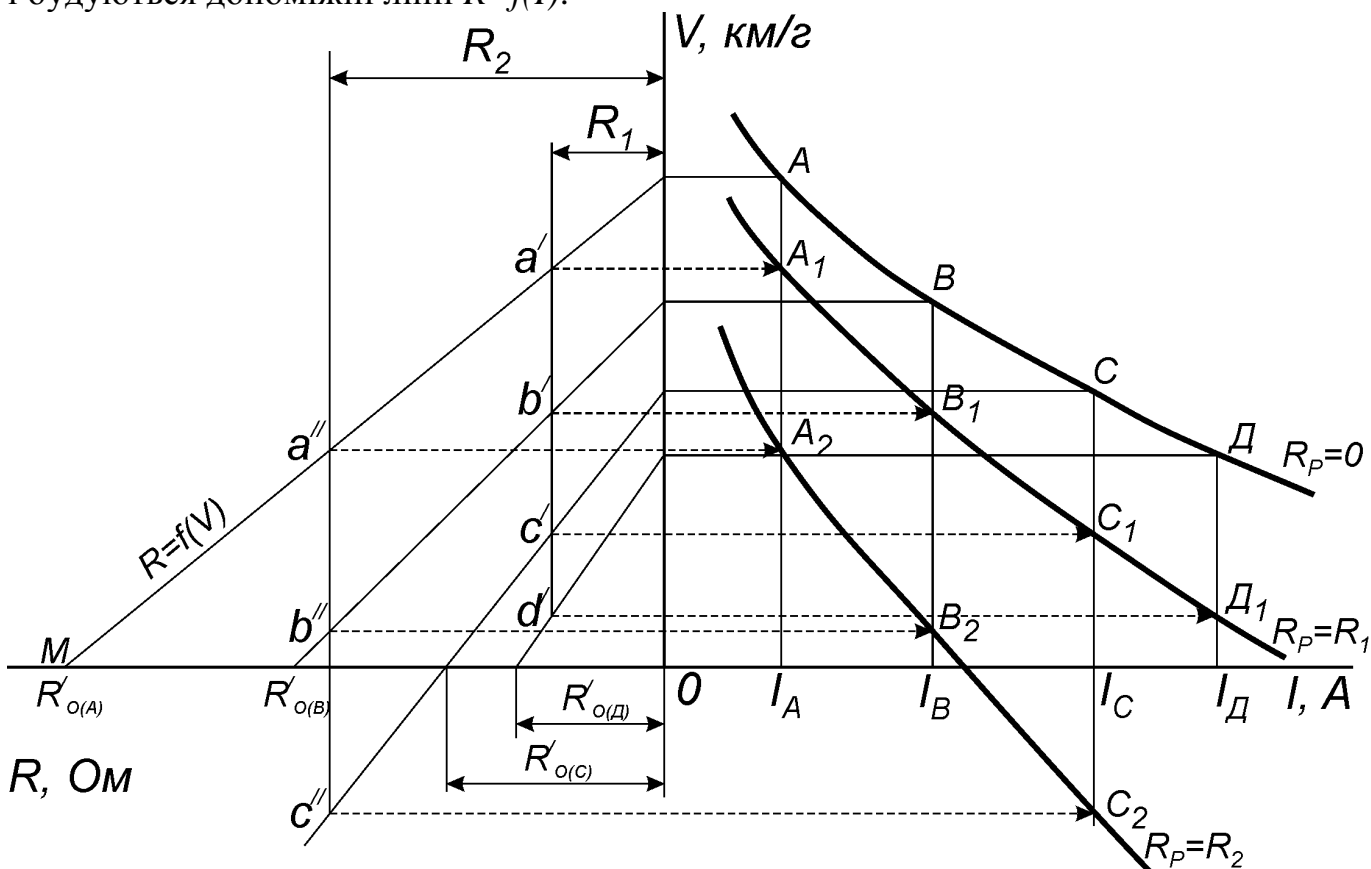


Рис. 2. Графічний спосіб побудови реостатних пускових характеристик

Положення точок реостатної характеристики $v=f(I)$, наприклад, при вмиканні резистора R_1 , можна визначити наступним чином. В другому квадранті проводиться вертикаль на відстані R_1 від нуля, точки перетинання котрої a' , b' , c' , d' дають розміри швидкостей реостатної характеристики. Якщо перенести ці точки в перший квадрант на вертикалі, що відповідають струмам I_A, I_B, I_C, I_D , то одержимо залежність $v=f(I)$ при вмиканні в коло резистора R_1 .

На рис. 2 аналогічні побудови проведені для реостатної характеристики з розміром опору R_2 .

Щоб побудова в другому квадранті не виявилася занадто розтягнутою по осі R , допоміжні лінії $R(v)$ можна будувати в області реальних значень опору пускового

реостата, тобто не продовжувати їх до $v=0$. У цих випадках замість точки $R'_{o(i)}$ при $v=0$ потрібно використовувати проміжні точки.

На рисунку 2 показана, наприклад, така проміжна точка Е, яку можна використовувати замість точки М для побудови лінії $R=f(I)$ при струмі I_A .

Розміром R_E задаються довільно (у межах креслення), а розмір v_E визначають із подоби трикутників

$$\frac{v_A}{v_E} = \frac{R_o'(A)}{(R_o'(A) - R_E)}, \text{ звідки } v_E = \frac{v_A \cdot (R_o'(A) - R_E)}{R_o'(A)}. \quad (12)$$

За відомими координатами (R_E і v_E) задається точка Е. При необхідності кожна лінія $R(v)$ може бути обмежена подібним образом.

2.7. Розрахунок маневрових ступенів

Маневрові ступені необхідні для забезпечення плавного трогання одиночного локомотива або поїзда з малою масою. Для плавного рушання з місця при пуску, а також для зменшення динамічних впливів на тягову передачу початкове прискорення рекомендується вибирати не більш 0,3-0,4 м/с² при ненавантаженому рухомому складі.

Сила тяги на першій маневровій позиції F_{m1} , кгс, необхідна для рушання електровоза на площадці з заданим прискоренням, визначається за формулою:

$$F_{m1} = P' \cdot \left[w_o' + 102 \cdot (1 + \gamma) \cdot \frac{dv}{dt} \right] \quad (13)$$

де P' - задане навантаження від осі на рейку, кН,

w_o' - основний питомий опір руху електровоза при швидкості 10 км/год;

$1 + \gamma$ - коефіцієнт інерції обертових мас, для електровозів його розмір приймається в межах 1,1-1,3.

Для електровозів основний питомий опір руху w_o' , кгс/тс, визначається за формулою:

$$w_o' = 1.9 + 0.01v + 0.0003v^2, \quad (14)$$

Після визначення сили тяги F_{m1} за електротяговою характеристикою тягового двигуна $F=f(I)$, визначають струм I_{m1} , що відповідає силі тяги F_{m1} .

Розмір пускового опору для першої позиції розраховується за формулою:

$$R_{m1} = \frac{U_k}{I_{m1}} - R_{\text{ää}}, \quad (15)$$

де U_k - напруга на колекторі тягового двигуна, В.

Кількість маневрових ступенів визначається за формулою

$$n_m = \frac{I_{\max} - I_{m1}}{I_{\max} - I_{\min}} \quad (16)$$

Кількість маневрових ступенів приймається таким чином, щоб коливання струму при переході з однієї позиції на другу не перевищували різниці $I_{\max} - I_{\min}$. За звичай на електровозах використовується 4-6 маневрових позицій.

Величина струму на кожній маневровій позиції

$$I_{mi} = I_{m1} + (i - 1) \frac{I_{\max} - I_{m1}}{n_m} \quad (17)$$

де i - номер позиції

Опір на маневрових позиціях визначається за допомогою формули:

$$R_{mi} = \frac{U_k}{I_{mi}} - R_{дв} \quad (18)$$

Для зручності результати обчислень пропонується звести в таблицю.

При перегрупуванні тягових двигунів за схемою моста і при наявності додаткових позицій (при переході з “С” на “П”) їхні резистори використовуються як маневрові для плавного пуску (п. 2.9).

Для зниження сили тяги першої маневрової позиції на деяких електровозах пуск починають при ослабленні збудження, що забезпечує повільність рушання і декілька знижує розмір маневрових резисторів.

2.8 Розрахунок додаткових позицій

Додаткові позиції призначені для забезпечення плавного переходу з одного угруповання тягових двигунів на друге при розгоні в зоні малих пускових струмів. Розрахунок ступенів опорів для додаткових позицій проводиться при умові, що зміна струму при переході з однієї позиції на іншу не повинна перевищувати розмір кидка $I_{max} - I_{min}$.

Розрахунок додаткових позицій рекомендується провадити графоаналітичним способом. Опір останньої додаткової позиції $R_{д(п)}$ визначається в такому порядку:

- приймають, що швидкісна характеристика, що відповідає останній додатковій позиції, проходить через точку А (рисунок 3) на безреостатній позиції послідовного з'єднання при струмі I_{min} ;

- будують у лівому квадранті допоміжну лінію $R=f(v)$, що відповідає пуску двигуна від нульової швидкості до швидкості v_l , на безреостатній позиції паралельного з'єднання при пуску зі струмом $I_{min} = const$. Розмір резистора $R_{o(дп)}$ визначають за формулою:

$$R_{o(дп)i} = \frac{U_k}{I_{(дп)i}} - R_{дв}, \text{ Ом} \quad (19)$$

- на допоміжній лінії $R(v)$ відкладають значення опору останньої додаткової позиції $R_{дод(п)}$ і графічним засобом будують реостатну характеристику $Dп$, що відповідає роботі двигуна з включеним $R_{дод(п)}$.

Для визначення точки на безреостатній позиції послідовного з'єднання, через яку повинна пройти швидкісна характеристика передостанньої додаткової позиції, відрізок [АВ], рівний $I_{max} - I_{min}$, переносять паралельно абсцисі таким чином, щоб він дотикався безреостатної характеристики і реостатної характеристики останнього додаткового ступеня. Таке положення визначить місце точки A_1 , через яку повинна пройти швидкісна характеристика передостанньої додаткової позиції. Точці A_1 , як це впливає з рисунку 3, відповідає струм I_{A1} .

Щоб визначити значення резистора передостанньої додаткової позиції $R_{дод(пп)}$, виконують побудови аналогічні попереднім: будують допоміжну лінію $R=f(v)$ (по $R_{o(дпп)}$), після чого легко знаходять $R_{дод(пп)}$ і будують $D(пп)$.

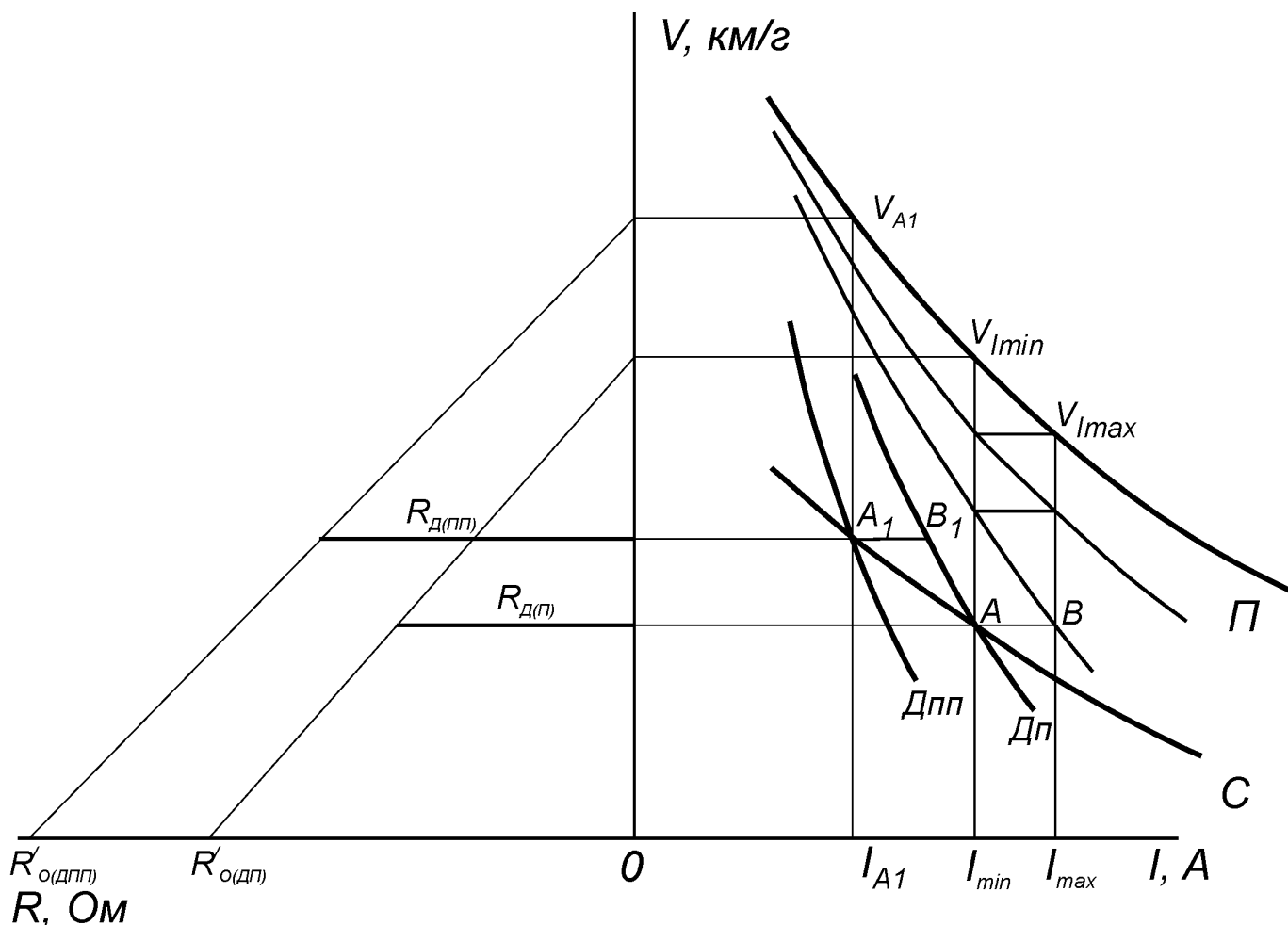


Рисунок 3 - Розрахунок додаткових ступенів

При необхідності аналогічним способом будують інші додаткові характеристики. На електровозі зазвичай передбачають 2-4 додаткових позиції.

2.9 Особливості розрахунку і компоновання ступенів пускових резисторів при мостовому переході

Слід зазначити, що на сучасних електровозах з колекторними двигунами при перегруповуваннях переважно застосовується мостовий перехід. У цьому випадку розрахунок ступенів реостата має ряд особливостей:

1) розрахунок резисторів розгінних ступенів виконують спочатку для вищого (паралельного) з'єднання, а для послідовного з'єднання використовуються ті ж ступені паралельного з'єднання;

2) після розрахунку розгінних позицій визначають величини опорів позицій для додаткових позицій при переході на вище з'єднання, а потім використовують ці ж опори як маневрові для послідовного з'єднання. Іноді при такому розрахунку кількість маневрових позицій виявляється недостатньою і доводиться додавати 1-2 позиції, що компонуються в одну групу і використовуються тільки на послідовному з'єднанні;

Розрахунок ступенів (на один двигун) доцільно починати з паралельного з'єднання двигунів і потім кожен ступінь поділяти навпіл (рисунок 4). Отримані при цьому точки перетинання вертикальної прямої з променем $[GB]$, що відповідає струму I_{min} , визначають вершини діаграми $v(R_n)$ для послідовного з'єднання груп двигунів, а значить і опори пускових ступенів у розрахунку на один двигун. У зв'язку з подвоєнням числа ступенів, коливання струмів на ступенях послідовного з'єднання менше, ніж на ступенях паралельного з'єднання.

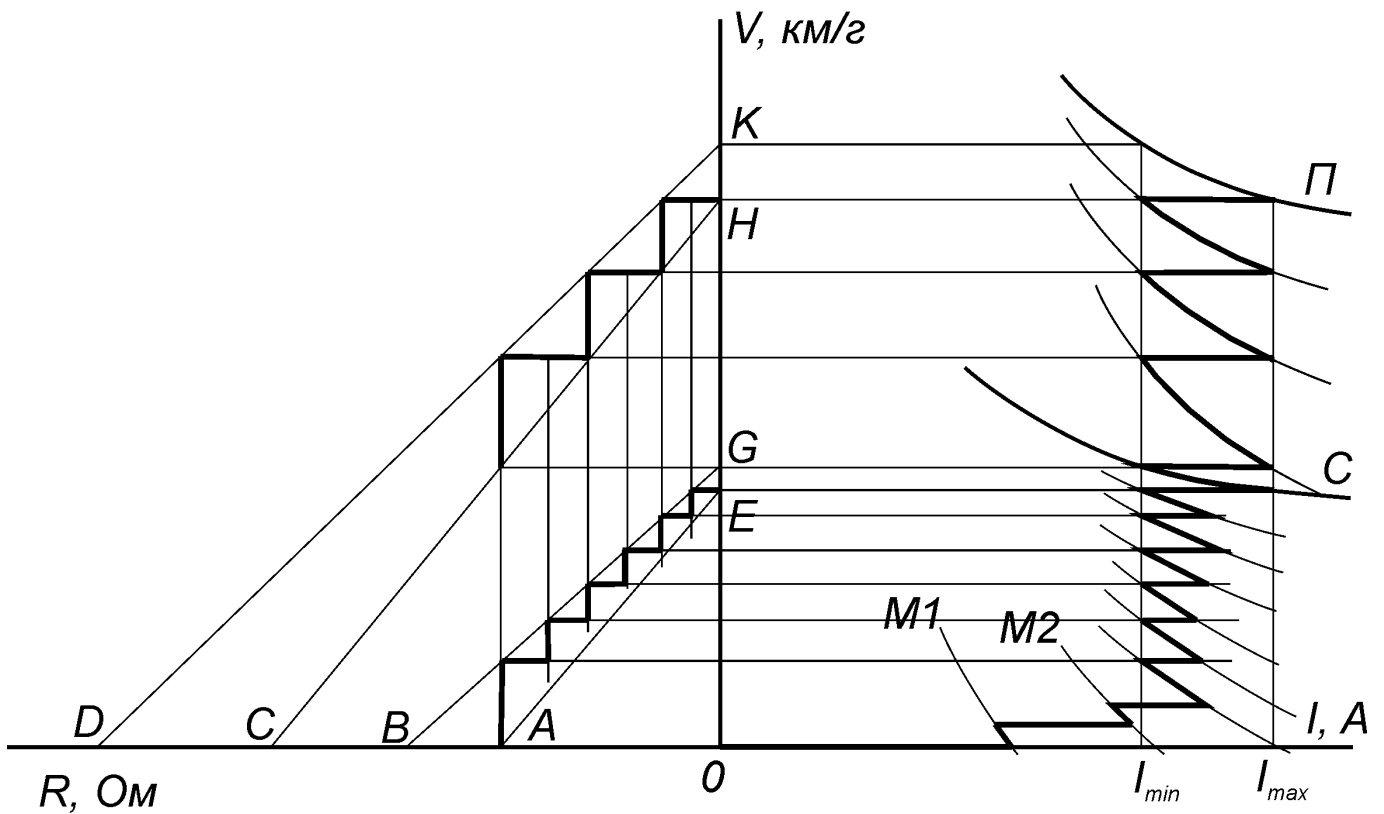


Рисунок 4 – Побудова реостатних характеристик при мостовому переході
2.10 Компонування пускового реостата

При компомуванні пускового реостата знаходимо пусковий опір на весь електровоз на *i*-тій позиції. Для визначення розміру пускових опорів електровоза варто враховувати кількість двигунів, сполучених послідовно і паралельно:

$$R_{ei} = R_i \cdot \frac{n_c}{n_n} \quad (20)$$

де R_{ei} - опір реостата на *i*-тій позиції з розрахунку на 1 ТЕД, Ом;
 n_c - число послідовно з'єднаних ТЕД;
 n_n - число паралельних угруповань ТЕД.

Дані розрахунків пропонується подати у вигляді таблиці 1, де для прикладу наведено випадок вентильного або резисторного переходу і вісьової формули 2о-2о.

Таблиця 1

Розрахунок пускових опорів

Угрупування ТЭД	Номер позиції	Опір на 1 ТЭД, Ом	Значення опору на електровоз, Ом	Опір секції, Ом	Позначення секції
С	1	R_1	$4 \cdot R_1$	-	-
С	2	R_2	$4 \cdot R_2$	$4 \cdot R_1 - 4 \cdot R_2$	а
С	3	R_3	$4 \cdot R_3$	$4 \cdot R_2 - 4 \cdot R_3$	б
.....
П	n-2	R_{n-2}	R_{n-2}	$R_{n-3} - R_{n-2}$	
П	n-1	R_{n-1}	R_{n-1}	$R_{n-2} - R_{n-1}$	
П	n	0	0	R_{n-1}	

Схему скомпонованого реостата необхідно привести на окремому рисунку. По знайденим значенням опорів секцій складається таблиця замикання секцій пускового реостата (таблиця 2) і таблиця замикання контакторів (таблиця 3). Для прикладу наведені відповідні таблиці електровоза ВЛ23.

Таблиця замикання секцій пускового реостата електровоза ВЛ23

З'єднання	Позиція	Секції пускового реостату														Величина опору, Ом	
		а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о		п
Послідовне	1	а+	б+	в+	г+	д+	е+	ж+	з+	и+	к+	л+	м+	н+	о+	п	29,89
	2	а+	б+	в+	г+	д+	е+	ж+	з+	и+	к+	л+	м+		о+	п	20,44
	3	а+	б+	в+	г+	д+	е+	ж+	з+	и+	к+	л+			о+	п	14,14
	4	а+	б+	в+	г+	д+	е+	ж+		и+	к+	л+			о+	п	11
	5	а+	б+	в+	г+	д+	е+			и+	к+	л+			о+	п	9,42
	6	а+	б+	в+	г+	д+	е+			и+	к+				о+	п	8,02
	7	а+		в+	г+	д+	е+			и+	к+				о+	п	6,76
	8	а+		в+	г+	д+				и+	к+				о+	п	5,97
	9	а+		в+	г+	д+				и+	к+					п	5,186
	10	а+			г+	д+				и+	к+					п	4,661
	11				г+	д+				и+	к+					п	3,96
	12				г+	д+					к+					п	3,54
	13					д+					к+					п	3,09
	14					д+					к+	(л+	м)П	(н+	о)П	п	2,61
	15					д+					к+	л+	П	(н+	о)П	п	2,11
	16					д+					к+	л+		П	оП	п	1,8
	17					д+	(е+	ж)П	(з+	и)П	к+	л		П	оП	п	1,46
	18	(а+	б)П	(в+	г)П	д+	(е+	ж)П	(з+	и)П	к+	л		П	оП	п	1,22
	19	(а+	б)П	(в+	г)П	д+	(е+	ж)П	(з+	и)П	к						0,83
	20	аП		(в+	г)П	д+	е	П	(з+	и)П	к						0,6
	21	а		П	гП	д+	е		(з+	и)П	к						0,39
	22	а		П	гП	д			П	и)П	к						0,18
Сх	23	----														0	
Послідовно-паралельне	24	(а+	б+	в+	г+	д)	П(е+	ж+	з+	и+	к+	л+			о+	п)	2,6
	25	(а+	б+	в+	г+	д)	П(е+		з+	и+	к+					п)	2,3
	26	(а+	б+		г+	д)	П(е+	ж+	з+	и+	к+	л+				п)	2,06
	27	(а+	б+		г+	д)	П(е+	ж+		и+	к+	л+				п)	1,65
	28	(а+	б+		г+	д)				+	к					Пп	1,36
	29	(а+	б+		г+	д)					П[к+	(л+	м)П	(н+	о)П	п]	1,21
	30	(а+	б+		г+	д)					П[к+	лП		(н+	о)П	п]	1
	31	(а+	б+		г+	д)П	(е+	ж)П	(з+	и)П	к+	лП		(н+	о)П	п	0,875
	32	(а+			г+	д)П	(е+	ж)П	(з+	и)П	к+	лП		(н+	о)П	п	0,713
	33				(г+	д)П	(е+	ж)П	(з+	и)П	к+	лП		(н+	о)П	п	0,55
	34				(г+	д)П	еП		(з+	и)П	к+	л			ПоП	п	0,43
35					дП	еП		(з+	и)П	к+	л			ПоП	п	0,31	
36					дП	еП		(з+	и)П	к						0,216	
37	аП			гП	дП	е			ПиП	к						0,097	
СПх	38	----														0	
Паралельне	39	(а			+г	+д)	П(е+	ж		+и	+к)П	(л			+о	+п)	0,9
	40	(а			+г	+д)	П(е			+и	+к)П	(л			+о	+п)	0,75
	41	(а			+г	+д)				П(и	+к)П	(л			+о	+п)	0,635
	42				(г	+д)				П(и	+к)П	(л			+о	+п)	0,485
	43				(г	+д)					Пк					Пп	0,363
	44					д					Пк					Пп	0,276
	45					д	П(е+	ж)П	(з+	и)П	кП	л		П(н	+о)	Пп	0,192
	46	(а+	б)П	(в+	г)П	д	Пе		П(з	+и)	Пк	л		П(н	+о)	Пп	0,132
	47	а			Пг	Пд	Пе			Пи	Пк	Пл			По	Пп	0,0775
Пх	48	----														0	

Таблиця замикання реостатних контакторів електровоза ВЛ23

З'єднання	Позиція	Номера реостатних контакторів																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Послідовне	1	1						8								16		18							
	2	1						8								16		18					22		
	3	1						8								16		18				21	22		
	4	1						8					13			16		18				21	22		
	5	1						8				12	13			16		18				21	22		
	6	1						8				12	13			16		18			20	21	22		
	7	1			4			8				12	13			16		18			20	21	22		
	8	1			4			8			11	12	13			16		18			20	21	22		
	9	1			4			8			11	12	13			16		18	19	20	21	22			
	10	1			4	5		8			11	12	13			16		18	19			21	22		
	11	1		3	4	5		8			11	12	13			16		18	19						
	12	1		3	4	5		8		10	11	12	13			16		18	19						
	13	1	2	3		5		8		10	11					16		18	19						
	14	1	2	3				8		10						16		18	19					23	
	15	1	2					8		10						16		18	19			21		23	
	16	1	2					8		10						16		18	19			21	22	23	
	17	1	2					8		10				14		16		18	19			21	22	23	
	18	1	2				6	8		10				14		16		18	19			21	22	23	
	19	1	2				6	8		10				14		16		18	19	20	21	22	23		
	20	1	2		4		6	8		10		12		14		16		18	19	20	21	22	23		
	21	1	2		4	5	6	8		10		12	13	14		16		18	19	20	21	22	23		
	22	1	2		4	5	6	8		10	11	12	13	14		16		18	19	20	21	22	23		
Сх	23	1	2		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		16		18	19	20	21	22	23	
Послідовно-паралельне	24	1					7		9						16		18				21	22			
	25	1					7		9			12			16		18	19			21	22			
	26	1				5	7		9			12			16		18	19							
	27	1				5	7		9			12	13		16		18	19							
	28	1				5	7		9	10		12	13		16		18	19							
	29	1				5	7		9	10					16		18	19						23	
	30	1				5	7		9	10					16		18	19				21		23	
	31	1				5	7		9	10				14		16		18	19			21		23	
	32	1			4	5		7		9	10				14		16		18	19		21		23	
	33	1		3	4	5		7		9	10				14		16		18	19		21		23	
	34	1		3	4	5		7		9	10		12		14		16		18	19		21	22	23	
	35	1	2	3	4	5		7		9	10		12		14		16		18	19		21	22	23	
	36	1	2		4	5		7		9	10		12		14		16		18	19	20	21	22	23	
	37	1	2		4	5	6	7		9	10		12	13	14		16		18	19	20	21	22	23	
	СПх	38	1	2	3	4	5	6	7		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Паралельне	39	1			4	5		7		9			13		15		17	18				21	22		
	40	1			4	5		7		9			12	13		15		17	18				21	22	
	41	1			4	5		7		9		11	12	13		15		17	18				21	22	
	42	1		3	4	5		7		9		11	12	13		15		17	18				21	22	
	43	1		3	4	5		7		9	10	11	12	13		15		17	18	19			21	22	
	44	1	2	3	4	5		7		9	10				15		17	18	19			21			
	45	1	2					7		9	10				14	15		17	18	19			21		23
	46	1	2				6	7		9	10		12		14	15		17	18	19			21		23
47	1	2		4	5	6	7		9	10		12	13	14	15		17	18	19			21	22	23	
Пх	48	1	2	3	4	5	6	7		9	10	11	12	13	14	15		17	18	19	20	21	22	23	

Для полегшення компоновання пускового реостата пропонується використовувати метод “подібних схем”, або метод, запропонований інженером В. В. Приваловим [4].

2.11 Тепловий розрахунок пускових резисторів

При курсовому проектуванні припускається виконання теплового розрахунку пускових резисторів по ефективному струму пускового режиму з урахуванням таких вихідних положень:

- режим пуску характеризується мінімальним прискоренням, прийнятим для електровозів $0,03 \text{ м/с}^2$;

- розрахунковими значеннями струмів на позиціях пуску приймаються: на розгінних позиціях - середній пусковий струм $0,5(I_{\max} + I_{\min})$, на маневрових позиціях - струм при швидкості рівній нулю, на додаткових позиціях - значення струму, що відповідає точці перетинання характеристики додаткової позиції з ходовою характеристикою попереднього з'єднання;

- час роботи на кожній позиції пуску приймається однаковим і рівним

$$t = \frac{v_{\text{вз}}}{3.6 \cdot 60 \cdot \left(\frac{dv}{dt}\right) \cdot m} \quad (21)$$

де $v_{\text{вз}}$ - швидкість виходу на швидкісну характеристику паралельного з'єднання при середньому пусковому струмі, км/год;

m - число всіх позицій пуску, включаючи і безреостатні позиції.

Середній пусковий струм

$$I_{\text{ср.пуск}} = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2} \quad (22)$$

Загальний час пуску

$$\sum_{i=1}^{i=m} t_i = t \cdot m \quad (23)$$

Ефективний струм секції пускового реостата

$$I_{\text{еф}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_m^2 t_m}{t \cdot m}}, \quad (24)$$

де I_1, I_2, \dots, I_m - струми, що проходять через секцію, що розраховується, на позиціях пуску, А.

Величину струмів секцій необхідно визначити з урахуванням схеми пускового реостата на кожній позиції і з'єднанні тягових двигунів.

За розміром ефективного струму кожної секції визначається число паралельно включених типових елементів фехралевих резисторів. Число паралельно включених елементів фехралевих резисторів:

$$a = \frac{I_{\text{еф}}}{I_{\text{трив(е)}}} \quad (25)$$

де: $I_{\text{трив(е)}}$ - тривалий припустимий струм обраного елемента, А.

Кількість послідовно включених елементів опорів обраного типу в даній секції визначається по формулі:

$$p = \frac{R_i \cdot a}{R_{\text{ел}}} \quad (26)$$

де $R_{\text{ел}}$ - опір типового елемента, Ом;

R_i - опір секції, що розраховується, Ом;

a - кількість паралельно включених типових елементів фехрелевих опорів.

Величина p округляється до цілого числа.

Найчастіше застосовуються опори типу КФ потужністю 2900 Вт, які мають параметри: опір елемента $R_{ел}=1,05$ Ом і довгостроковий струм елемента $I_{трив(е)}=52$ А. В курсовому проекті пропонується вибрати такі типи опорів з додатку В, щоб їхня загальна кількість була якнайменша.

У курсовій роботі проекті дозволяється тепловий розрахунок призводити не для всіх секцій, а лише для двох найбільш навантажених.

Після цього проводиться порівняння розрахункових значень опорів секції і значень опорів секцій, отриманих після теплового розрахунку. Схема двох найбільш навантажених секцій приводиться на рисунку в пояснювальній записці.

3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕОСТАТНОГО ГАЛЬМУВАННЯ

З метою спрощення силової схеми електровоза подвійного живлення рекомендується застосовувати реостатне гальмування із самозбудженням на "П" з'єднанні. При цьому основним способом регулювання гальмівного режиму є зміна величини гальмівного опору. Розрахунок ступенів гальмівного реостата ведеться для одного тягового двигуна, а потім, з огляду на кількість тягових машин і їхнього угруповання, підраховується розмір загального гальмівного опору. Студент повинен привести на окремому рисунку розрахункову схему реостатного гальмування.

3.1. Розрахунок ступенів гальмівних резисторів

Для розрахунку гальмівних ступенів рекомендується застосувати графічний метод. Границі коливання гальмівного струму визначаються з заданого коефіцієнта нерівномірності $K_{н(I)}$ і обмеження гальмівних характеристик по максимальному струму I_{max} . При електричному гальмуванні $I_{max(т)}$ приймається рівним годинному струму двигуна $I_{д.год}$: $I_{max(т)} = I_{д. год}$. Знаючи $K_{н(I)}$ і $I_{max(т)}$ за формулою визначається $I_{min(т)}$.

$$I_{min(т)} = \frac{I_{max(т)} - K_{н(I)} \cdot I_{max(т)}}{1 + K_{н(I)}} \quad (27)$$

На міліметровому папері (можна використовувати графік із пусковою діаграмою) у лівому квадранті будують два променя ([АО') і [ВО') - див. рисунок 5), що відповідають рівнянням:

$$\left. \begin{aligned} R_{A(O)} &= \frac{c\Phi_{(I_{min})} \cdot v_{(I_{min})}}{I_{min}} - R_{дв}; \\ R_{B(O)} &= \frac{c\Phi_{(I_{max})} \cdot v_{(I_{max})}}{I_{max}} - R_{дв}. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

де $v(I_{max})$ і $v(I_{min})$ - швидкості, км/г, узяті з характеристики $v=f(I)$ для тягового режиму відповідно $I_{max(т)}$ і $I_{min(т)}$.

Величини $c\Phi(I_{max})$ і $c\Phi(I_{min})$ можна визначити з кривої $v=f(I)$, або ж із рівняння

$$\tilde{n}\hat{O}_{(i)} \cdot v_i = U_k - I_i \cdot R_{\text{за}} \quad (29)$$

Кожен промінь будується за двома точками: першу одержують, підставляючи в рівняння (18) $v=0$; другу - підставляючи в ці ж рівняння відповідно значення $v(I_{max})$ і $v(I_{min})$ (на рисунку 5 точки А' і В').

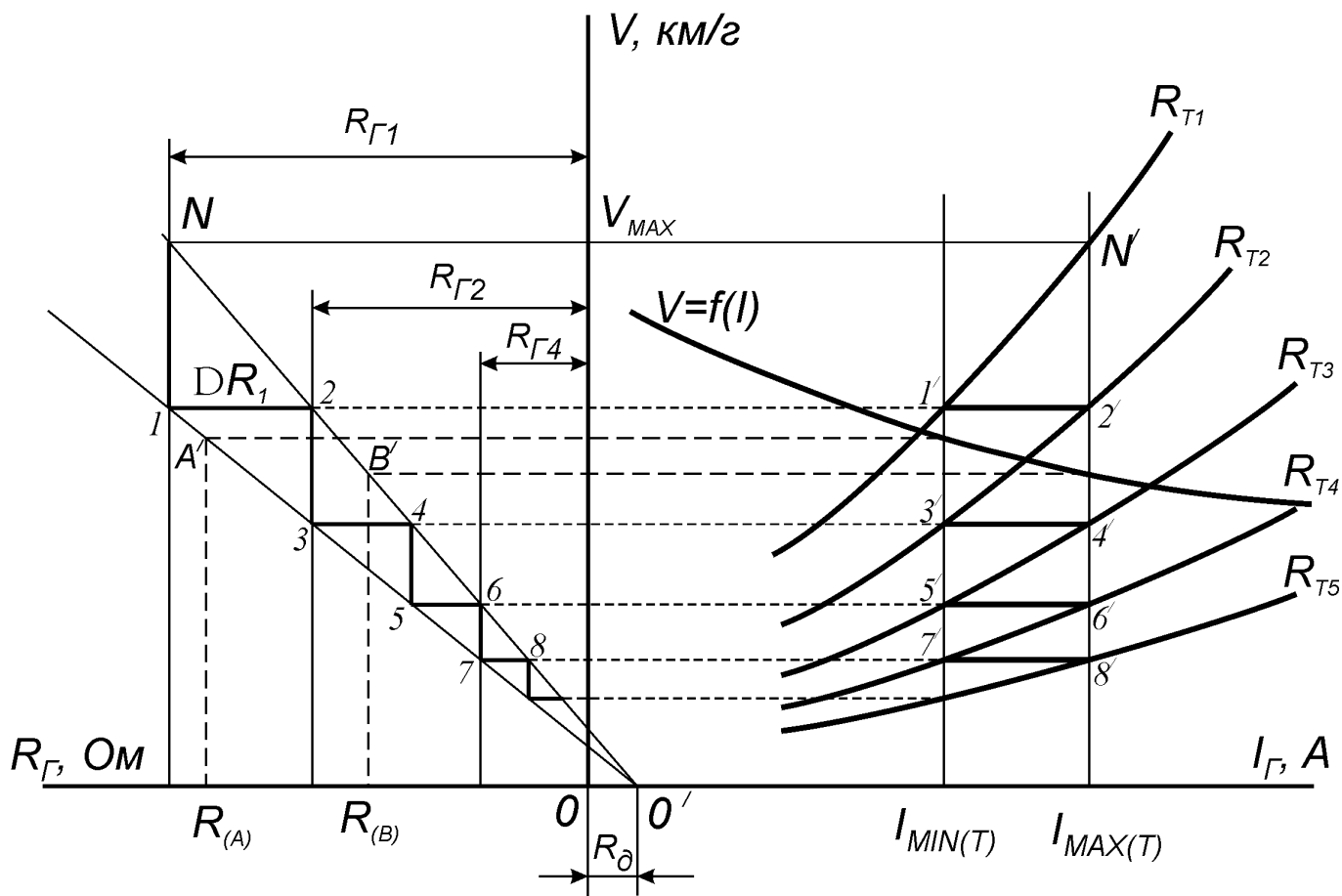


Рис. 5. Розрахунок гальмівних характеристик

Величина максимальної швидкості відповідної $I_{\max(T)}$, виходячи з обмеження по комутації

$$v_{\max(T)} = \frac{U_{\max} + I_{\max(T)} \cdot R_{\text{дв}}}{U_{\text{н}} - I_{\max(T)} \cdot R_{\text{дв}}} \cdot v_{\text{д}} \quad (30)$$

Значення U_{\max} для звичайних тягових двигунів приймається в межах $(1,2-1,3) \cdot U_{\text{н}}$, швидкість $v_{\text{д}}$ відповідає величині $I_{\max(T)}$ по характеристиці тягового режиму $v=f(I)$.

Отримане значення $v_{\max(m)}$ відкладають на осі ординат і проводять горизонтальну пряму до перетинання з променем [BO'] (на рисунку 5 точка N).

Приймаємо, що ця точка відповідає першій гальмівній позиції R_{T1} .

Введення в коло двигуна R_{T1} призведе до зниження швидкості (по лінії N'-1') і зменшенню гальмівного струму до величини $I_{\min(T)}$. Якщо в цей момент зменшити гальмівний резистор на ΔR_1 , то буде забезпечений новий приріст гальмівного струму до $I_{\max(T)}$.

Тепер, при введеному в коло резисторі $R_{T2}=R_{T1}-R_1$ швидкість буде зменшуватися по лінії 2'-3'. Подібним чином можна визначити всі ступені гальмівного реостата в залежності від швидкості. Відповідні зміни швидкості приведені в першому квадранті (рисунок 5, N'-1'-2'-3'-4'-5'-6'-7'-8).

З графіка визначається розмір гальмівних резисторів для кожної позиції R_{T1} , R_{T2} , R_{T3} і так далі.

Рекомендується, крім отриманих таким способом ступенів, передбачати декілька додаткових, більших за R_{T1} , для можливості регулювання гальмівної сили при швидкостях, близьких до конструктивної.

Доцільно для регулювання гальмівної сили використовувати той же реостат, що і для пуску тягових двигунів. Для цього необхідно порівняти і відкоригувати розміри ступенів гальмівних резисторів, виходячи з вже сформованого компоновання пускових резисторів.

На останніх гальмівних позиціях звичайно не можна одержати достатньо дрібні ступені опорів без включення додаткових контакторів, що ускладнює схему і часто недоцільно. Тому при доборі ступенів гальмівних опорів припускається в зоні малих швидкостей підвищувати коефіцієнт нерівномірності по струму на 20-50% у порівнянні з його значенням для реостатного пуску.

3.2. Розрахунок гальмівних характеристик

Відкориговані значення гальмівних опорів використовуються для побудови швидкісних характеристик при реостатному гальмуванні $v=f(I_T)$.

Побудова виконується графоаналітичним способом у такому порядку. На заданій швидкісній характеристиці рухового режиму довільно вибирають (бажано рівномірно) декілька точок, на рисунку 6 точки К, М, L, N. Обраним точкам відповідають струми I_K, I_M, I_L, I_N , для яких будуються промені $R_T(v)$ подібно променям $[AO']$ і $[BO']$. Для побудови променів $[KO']$, $[MO']$, $[LO']$, $[NO']$ використовуються формули (28), куди замість $I_{max(T)}$ і $I_{min(T)}$ підставляються струми I_K, I_M, I_L, I_N і відповідної їм швидкості.

Опори гальмівних позицій відкладаються на абсцисі в лівому квадранті і через них проводяться лінії паралельно ординаті (на рисунку 6 R_{T1}, R_{T2}).

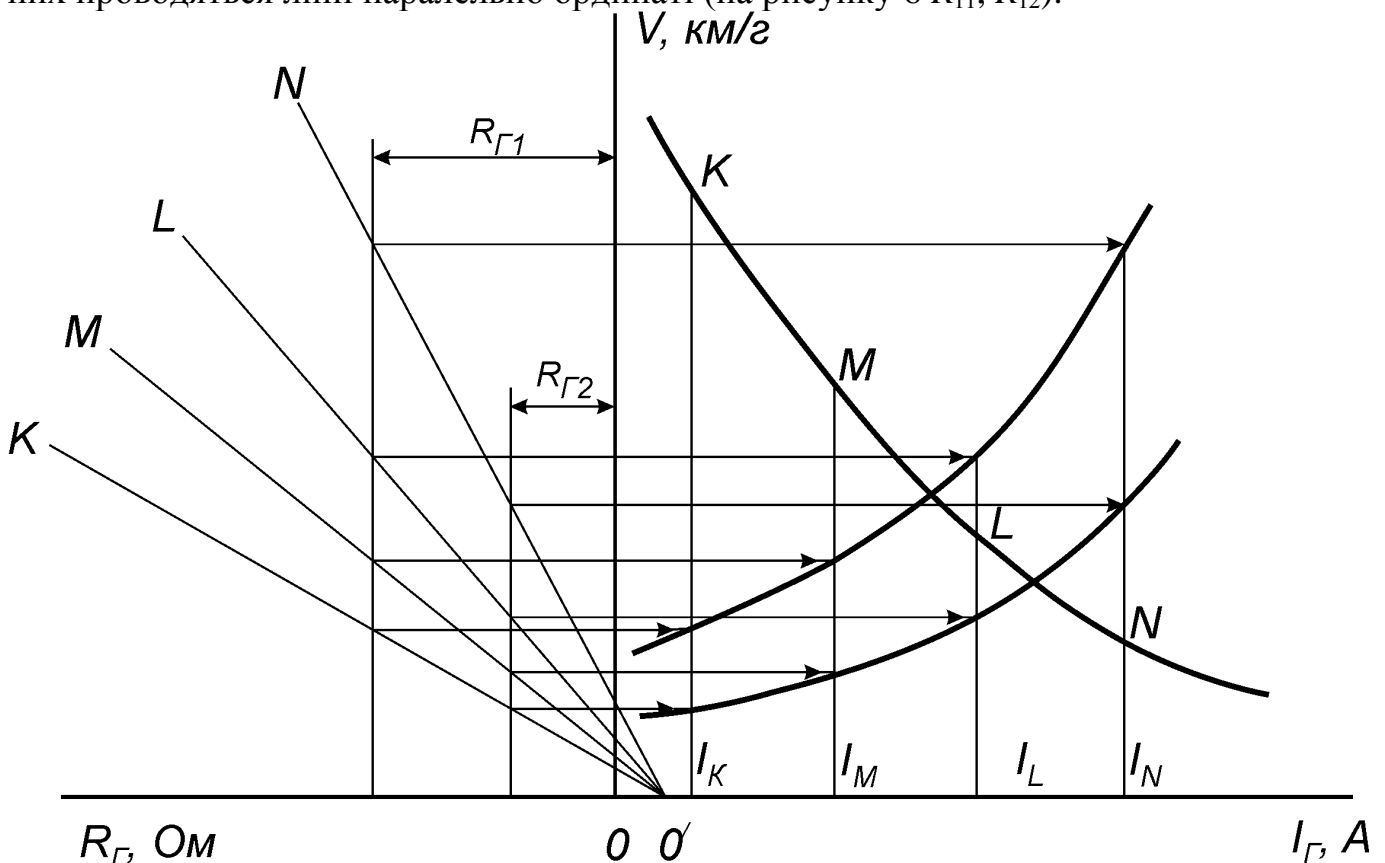


Рис. 6. Розрахунок ступенів гальмівних резисторів

Точки перетинання цих ліній із відповідними променями переносяться в перший квадрант на лінії струмів I_K, I_M, I_L, I_N , що і дає можливість побудувати необхідні швидкісні характеристики $v=f(I_T)$ при $R_{T1}=\text{const}$ і $R_{T2}=\text{const}$.

Таким способом будується сімейство характеристик для всіх гальмівних позицій. У курсовому проекті припускається побудова цих характеристик на тому ж

графіку, де нанесена пускова діаграма. Бажано усе, що стосується розрахунків параметрів гальмівного режиму виконати іншим кольором.

3.3. Обмеження характеристик реостатного гальмування

На побудовані характеристики $v=f(I_T)$ необхідно завдати обмеження за максимальною швидкістю, по зчепленню коліс з рейками і максимальній напрузі.

Обмеження по зчепленню коліс з рейками розраховується з умови зменшення розрахункового коефіцієнта зчеплення на 20%, ніж при тяговому режимі.

$$B_T = 0,8 \cdot P \cdot \psi_k \quad (31)$$

Обмеження по максимальній напрузі може бути побудоване з виразу:

$$v_{\max(t)} = \frac{U_{\max} + I_{\max(t)} \cdot R_{\text{дв}}}{U_{\text{н}} - I_{\max(t)} \cdot R_{\text{дв}}} \cdot v_{\text{д}} \quad (32)$$

Після нанесення на графік обмежень необхідно побудувати гальмівну діаграму, що дасть уявлення про коливання струму при переході з однієї позиції на іншу.

Отримавши зниження швидкості до 10 км/год при реостатному гальмуванні, для повної зупинки застосовують пневматичне колодкове гальмування.

Визначаємо значення опорів для побудови допоміжних ліній при графічному методі розрахунку характеристик реостатного гальмування для декількох значень струмів:

$$R_i = \frac{U_{\text{н}} - I_i \cdot R_{\text{дв}}}{I_i} - R_{\text{дв}} \quad (33)$$

Графічним засобом виконуємо побудову реостатних характеристик. У результаті побудови одержують характеристики реостатного гальмування. Значення гальмівних опорів краще привести у вигляді окремої таблиці. За значеннями опорів проводять компонування гальмівного реостата. В окремій таблиці приводять схему замикання контакторних елементів у режимі реостатного гальмування.

4. РОЗРОБКА СИЛОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОВОЗА

За основу при розробці силової схеми приймається схема типового електровозу, що рекомендується в завданні. Необхідно старанно вивчити типову схему і свідомо використовувати її основні принципи для електровоза, що проектується.

Електрична схема, що розробляється, повинна відповідати наступним вимогам: стабільно виконувати всі основні функції системи управління при найменшій кількості з'єднувальних дротів, контактів, апаратів; забезпечувати високій ступінь надійності всіх машин і апаратів при скороченні до мінімуму кількості апаратів з дугогасінням, тобто при найменшій кількості переключень з розривом кола силового струму; надійно синхронізувати спрацювання однакових апаратів на різних локомотивах при роботі по системі багатьох одиниць; ефективність захисту (попередження виникнення несправності або обмеження її поширення) всіх основних елементів та вузлів; недопущення роботи окремих елементів обладнання в різних режимах (наприклад, тягових двигунів частково в моторному, а частково в гальмівному режимі); виключення виникнення ненормальних режимів роботи основного обладнання ЕРС (коротке замикання

обмоток трансформатора, реверсування увімкнених тягових двигунів тощо) при відмові будь якого апарата.

При проектуванні силової схеми передбачають можливість виконання наступних операцій управління локомотивом: під'єднання силового кола до дотикової мережі і рейки; пуск і регулювання швидкості тягових двигунів; змінення напрямку руху локомотива; забезпечення високої експлуатаційної надійності роботи силової схеми, тобто забезпечення захисту електроустаткування від перевантаження, коротких замикань, перенапруг і інших аварійних режимів; переключення силових кіл на аварійний режим при пошкодженні окремих тягових двигунів або апаратів; поліпшення комутаційної напруженості тягових двигунів при роботі електровоза від дотикової мережі змінного струму.

У пояснювальній записці приводиться стислий опис роботи схеми в режимах тяги й електричного гальмування, а також таблиця уставок основних захисних апаратів. Приклад виконання таблиці уставок наведено в додатку Е.

Силова схема електровоза, що проектується, повинна передбачати роботу тягових двигунів у тяговому режимі при напрузі на струмоприймачі 25 кВ змінного струму промислової частоти 50 Гц і 3 кВ постійного току, і в режимі реостатного гальмування з послідовним самозбудженням.

Умовні позначення елементів електричних кіл повинні бути виконані згідно з ГОСТ 2.755-87. найчастіше вживані елементи електричних схем електровозів наведено в додатку Ж.

5 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВИПРЯМЛЯЮЧОЇ УСТАНОВКИ І ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОВОЗА ПРИ РОБОТІ НА ЗМІННОМУ СТРУМІ

5.1 Розрахунок зовнішніх характеристик випрямляючої установки

Розрахунок зовнішньої характеристики випрямляючої установки робимо по такому вираженню:

$$U_d = U_{d\max} - \Delta U_{\text{ком}} - \Delta U_{\text{Rтр}} - \Delta U_{\text{Rd}} - \Delta U_{\text{в}} , \text{ В} \quad (34)$$

де $U_{d\max}$ - напруга холостого ходу випрямляючої установки, В;
втрати, що враховують комутацію і вплив пульсацій випрямленого струму, В:

$$\Delta U_{\text{ком}} = \frac{2}{\pi} \cdot \lambda \cdot X_{\text{т}} \cdot I_{\text{дн}} \quad (35)$$

Показник λ , що враховує вплив пульсацій випрямленого струму, при коефіцієнті відносної пульсації $k_{\text{п}} = 0.5$ має значення 1,13. В разі іншого заданого значення $k_{\text{п}}$ в курсовому проекті, показник λ необхідно пропорційно перерахувати.

Індуктивний опір трансформатора

$$X_{\text{т}} = 1,11 \cdot \frac{U_{d\max}}{I_{\text{дн}}} \cdot u_{\text{к}} \quad (36)$$

де $U_{d\max}$ – приблизно оцінене значення напруги випрямляючої установки, В.
Приблизно оцінюємо

$$U_{d\max} = \frac{U_{\text{н}}}{1 - 0,7 \cdot \lambda \cdot u_{\text{к}}} \cdot \quad (37)$$

$u_{\text{к}}$ - напруга короткого замикання трансформатора ($u_{\text{к}} = 0,12$).

$I_{\text{дн}}$ - величина середньовипрямленого струму, А.

$$I_{\text{дн}} = a \cdot I_{\text{д.год}} \cdot \quad (38)$$

де a – кількість паралельних гілок, що отримують живлення від випрямляючої установки.

$\Delta U_{R_{TP}}$ - втрати на активному опорі трансформатора, В;

$$\Delta U_{R_{TP}} = 0,7 \cdot I_{дн} \cdot R_T, \quad (39)$$

де R_T активний опір трансформатора, Ом:

$$R_T = 0,1 \cdot X_T \quad (40)$$

ΔU_{R_d} - втрати на активному опорі випрямного кола, В

$$\Delta U_{R_d} = I_{дн} \cdot R_d \quad (41)$$

де R_d - активний опір випрямного кола, Ом.

$$R_d = 0,8 \cdot R_T$$

$\Delta U_B = 0,5$ В - втрати у вентилях (на один вентиль);

По двох точках U_{dmax} і $U_{дн}$ будуємо зовнішні характеристики ВУ для електровоза (на паралельному з'єднанні) і віднесені до одного двигуна.

5.2. Розрахунок числа послідовно включених вентилів плеча моста

Число послідовно включених вентилів моста розраховується по найбільшій величині повторюваної напруги. Максимальна повторювана напруга визначають як максимальне значення напруги при найбільшій припустимій напрузі в контактній мережі з урахуванням підвищеної напруги при холостому ході випрямляючої установки

$$U_{max} = \sqrt{2} \cdot 1,11 \cdot U_i \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (42)$$

де U_H - номінальна напруга на ТЕД, В;

k_1 - коефіцієнт, що враховує підвищення напруги випрямляючої установки при зниженні навантаження, при холостому ході, $k_1 = 1,125$;

k_2 - коефіцієнт, що враховує можливе підвищення напруги в контактній мережі до 29 кВ (на 16%), $k_2 = 1,16$.

Кількість послідовно включених вентилів

$$m_B = \frac{U_{max}}{U_{обр}} + 1 = \frac{2,03 \cdot U_H}{U_{обр}} + 1, \quad (43)$$

де $U_{обр}$ – максимальна оборотна повторна напруга вентиля, В.

5.3 Розрахунок числа паралельно включених вентилів у плечі моста

Кількість паралельних вентилів у плечі моста

$$a_B = \frac{I_{розр} \cdot a}{2 \cdot I_{нв} \cdot k_3 \cdot k_4}, \quad (44)$$

де $I_{розр}$ - розрахунковий струм пуску двигунів, А;

$I_{нв}$ - номінальний струм вентиля, А;

$k_3 = 0,85$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірний розподіл струму між паралельними гілками в плечі моста;

$k_4 = 0,9$ - коефіцієнт, що враховує підігрів повітря при охолодженні останніх вентилів ВУ.

$I_{розр}$ приймаємо рівним максимальному струму обмеження по зчепленню колеса з рейкою при значенні швидкості $v = 0$ км/год.

5.4. Економічне обґрунтування вибору вентилів

В курсовому проекті необхідно розглянути 3 - 4 варіанта компоновки випрямляючої установки різноманітними типами випрямляючих діодів (різних

класів). При цьому виконується розрахунок аналогічно п.п. 4.2. і 4.3 для кожного типу вентилів, які можна вибрати з додатку Г.

Вартість випрямляючої установки визначається по формулі:

$$\sum S_{\text{вн}} = a_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}} \cdot S \cdot 4, \quad (45)$$

де: S - вартість одного вентиля, грн;

4 – кількість плечей у мості.

Дані і результати обчислень пропонується привести у вигляді таблиці.

Відповідно до приведених розрахунків робиться висновок про доцільність прийняття вентилів певного типу. Схему плеча випрямляючої установки приводять на окремому рисунку. Для вирівнювання статичних перенапруг застосовують шунтуючі резистори $R_{\text{ш}}$. Для згладжування динамічних перенапруг передбачають R - C кола. Для вирівнювання струмів у паралельних гілках застосовують індуктивні шунти і резистори зв'язку $R_{\text{зв}}$. У разі використання лавіних діодів додаткові елементи не встановлюються.

5.5. Перерахунок швидкісних характеристик

Побудована зовнішня характеристика показує, що величина напруги, підведена до тягових двигунів, змінюється при зміні струмового навантаження. В зв'язку з цим швидкісні характеристики, отримані за умови, що $U_{\text{н}} = \text{const}$, у режимі змінного струму потребують коригування. Швидкість тягових двигунів при живленні електровоза від власної випрямляючої установки визначається за формулою

$$v_{\text{змін}} = v_{\text{пост}} \cdot \frac{U_{\text{дв}} - I_{\text{д}} \cdot R_{\text{дв}}}{U_{\text{н}} - I_{\text{д}} \cdot R_{\text{дв}}} \quad (46)$$

де $v_{\text{пост}}$ – швидкість двигунів, км/год, що відповідає струмові $I_{\text{д}}$ при напрузі контактної мережі $U_{\text{н}} = 3000$ В.

$U_{\text{дв}}$ – напруга, В, яка підводиться до двигуна при живленні його від випрямляючої установки електровоза при струмі $I_{\text{д}}$.

$I_{\text{д}}$ – довільне значення випрямного струму, споживаного двигунами, А.

Результати розрахунків пропонується привести в табличній формі. Перерахунок зробити для двох характеристик, одну з них – для паралельного з'єднання.

Перераховані характеристики приводяться на рисунку разом з реостатними характеристиками. В пояснювальній записці робиться висновок про зміну тягових властивостей локомотива у випадку живлення від випрямляючої установки.

5.6. Розробка вузла кола управління

Завданням на контрольну роботу визначається вузол кола управління, що підлягає розробці. До рішення цієї задачі можна приступити лише після детального вивчення схеми управління типового електровоза.

Розроблені схеми приводяться на окремому листі міліметрового паперу формату А4 (210x297). Позначення елементів схеми кіл керування повинні відповідати прийнятим стандартам.

У пояснювальній записці наводиться стислий опис розробленої схеми кола управління. При захисті контрольної роботи необхідно вміти обґрунтувати прийняті схемні рішення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт. 1980. 471с.
2. «Проектирование систем управления подвижным составом электрических железных дорог» Під ред. Д.Д. Захарченко. М.: Транспорт, 1986 р. 365 с.
3. «Правила тяговых расчетов для поездной работы» М.: Транспорт, 1985 г. 287 с.
4. Быстрицкий Х. Я. «Устройство и работа электровозов переменного тока» М. Транспорт, 1985 г. 386 с.
5. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Системы управления ЭПС» (Электровозы двойного питания) Часть 1. Укладач Петрович Л.В. Дніпропетровськ, ДІТ. 1987 г. 27 с.
6. Проектирование систем управления электроподвижным составом (Под ред. Н.А. Ротанова.). М.: Транспорт. 1986. 327 с.
7. Электротехнический справочник / (Под общ. ред. И. Н. Орлова.) в 3т. Т. 3, кн 2. 7-е изд., испр. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 880 с.
8. Петрович Л.В., Васильев В.Е. Довідковий матеріал до виконання курсового проекту з дисциплін «Системы керування міського електротранспорту» та «Теорія електричної тяги». Дніпропетровськ. ДІТ. 1999. 26 с.

Додаток А

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Таблиця А.1

Вихідні дані для виконання курсової роботи

Номінальна напруга в контактній мережі:

- при роботі електровоза на ділянці постійного струму – 3000 В,
 - при роботі електровоза на ділянці змінного струму – 25 кВ, 50 Гц.
- Засіб регулювання напруги змінного струму – реостати

	Обирається по останній цифрі учбового шифру студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип тягового двигуна	НБ-407	ТЛ-2К	ДК-106Б	АL4846eT	НБ-406	НБ-412К	ТЛ-2К	ЕД141У1	НБ-412К	ЕД143У1
Опір обмоток (110°C), Ом	0,1162	0,1295	0,56	0,106	0,1567	0,118	0,1295	0,0947	0,118	0,08665
Схема електровоза, що рекомендується як типова	ВЛ82	ВЛ82	ВЛ82	ВЛ82 ^М	ВЛ82	ВЛ82 ^М	ВЛ82	ВЛ82 ^М	ВЛ82	ВЛ82 ^М
	Обирається по передостанній цифрі учбового шифру студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Призначення локомотива	вантажний		пасажирський		вантажний		пасажирський		вантажний	
Навантаження від колісної пари на рейку, кН	270	260	210	220	250	260	220	230	270	260
Коефіцієнт нерівномірності пуску по струму	0,06	0,07	0,09	0,1	0,065	0,075	0,095	0,095	0,07	0,06
Спосіб перегрупування тягових двигунів	резист	вентіл	мост	резист	резист	вентіл	мост	вентіл	резист	мост
Осьова формула	2o+2o	3o+3o	2o+2o	2o+2o+2o	3o+3o	2(2o+2o)	2o+2o	2o+2o+2o	3o+3o	2o+2o

Вихідні дані для виконання контрольної роботи

	Обирається по останній цифрі учбового шифру студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип тягового двигуна	НБ-407	ТЛ-2К	НБ-407	АL4846eT	НБ-406	НБ-412К	ТЛ-2К	ЕД141У1	НБ-412К	ЕД143У1
Опір обмоток (110°C), Ом	0,1162	0,1295	0,1162	0,106	0,1567	0,118	0,1295	0,0947	0,118	0,08665
Схема електровоза, що рекомендується як типова	ВЛ82	ВЛ82	ВЛ82	ВЛ82 ^М	ВЛ82	ВЛ82 ^М	ВЛ82	ВЛ82 ^М	ВЛ82	ВЛ82 ^М
Вузол кола управління, що підлягає розробці	Управління ПРС	Управління ЕКГ	Пуск ТЕД	Управління доп.маш	Управління ШВ і ГВ	Управління ПРС	Управління ЕКГ	Пуск ТЕД	Сінхронізація ЕКГ	Управління ШВ і ГВ
	Обирається по передостанній цифрі учбового шифру студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Призначення локомотива	вантажний		пасажирський		вантажний		пасажирський		вантажний	
Навантаження від колісної пари на рейку, кН	270	260	210	220	250	260	220	230	270	260
Осьова формула	2o+2o	3o+3o	2o+2o	2o+2o+2o	3o+3o	2(2o+2o)	2o+2o	2o+2o+2o	3o+3o	2o+2o

Додаток Б

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ

Таблиця Б.1

Характеристики тягового двигуна НБ-412К на 33-й і на 9-й позиціях
($\mu = 3,826$; $D = 1250$ мм; $U_M = 25000$ В; $U_{дн} = 1600$ В)

I_d , А	U_d , В	НЗ ($\beta = 0,95$)			ОЗЗ позиція					
		$F_{кд}$, кгс	v , км/год		ОЗ1 ($\beta = 0,71$)		ОЗ2 ($\beta = 0,55$)		ОЗ3 ($\beta = 0,46$)	
			Поз.33	Поз.9	$F_{кд}$, кгс	v , км/год	$F_{кд}$, кгс	v , км/год	$F_{кд}$, кгс	v , км/год
200	1750	1310	86,8	20,7	1150	103,0	—	—	—	—
300	1705	2410	69,3	15,1	2050	80,0	1840	92,5	1750	100,0
400	1660	3680	59,8	11,4	3210	66,8	2910	75,1	2730	82,0
500	1615	5070	53,0	8,9	4480	58,4	4120	64,6	3920	69,4
600	1575	6470	48,0	6,9	5860	52,9	5400	57,6	5140	61,3
700	1515	7870	44,6	5,2	7190	48,8	6740	52,6	6420	56,6
800	1480	9330	41,1	3,8	8590	45,2	8110	48,0	7700	52,6

Таблиця Б.2

Характеристики тягового двигуна А1 4846еТ ($\mu=1,75$; $D_k=1250$ мм; $U_d=1500$ В)

I_d , А	ПЗ				ОЗ1 (85%)		ОЗ2 (72%)		ОЗ3 (63%)	
	$F_{кд}$, кгс	v , км/год			$F_{кд}$, кгс	v , км/год	$F_{кд}$, кгс	v , км/год	$F_{кд}$, кгс	v , км/год
		С	СП	П						
185	560	57,5	108,5	166	-	-	-	-	-	-
200	650	52,5	102,5	155,5	-	-	-	-	-	-
215	740	48,5	97,0	147	650	166	-	-	-	-
250	960	43,0	86,5	132,5	840	150	-	-	-	-
270	1080	40,5	82,0	125	960	142	820	166	-	-
300	1280	38,0	76,7	116,3	1160	132,5	980	154	-	-
327	1480	35,7	73,0	110	1320	125	1140	145	1000	166
345	1600	34,7	71,0	106,5	1450	121	1260	139	1100	160
387	1930	32,5	67,2	100,5	1730	112,5	1500	129,5	1340	147
402	2030	31,7	66,0	99,0	1840	110	1610	125	1420	143,2
450	2400	30,0	63,0	95,0	2180	104	1920	116,5	1720	132,5
490	2680	28,7	61,0	92,3	2480	100	2220	110,5	1960	126
583	3370	26,7	57,5	87,0	3150	93,5	2870	101	2600	113,7
600	3500	26,5	57,0	86,0	3280	92,5	3000	100	2700	112
650	3880	26,0	55,5	84,0	3640	89,6	3360	97,3	3040	108,2
700	4240	25,2	54,3	81,6	4000	87,5	3700	94,8	3380	105
750	4600	25,0	53,5	79,6	4380	85,3	4080	92,6	3720	102,3

Характеристики тягового двигателя НБ-407($\mu=3,865$; $D_k=1250$ мм; $U_d=1500$ В)

I_d , А	П3 (97%)			О31 (74%)		О32 (59%)		О33 (48%)	
	$F_{кл}$, кгс	v , км/год		$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год
		С	П						
150	550	46,5	95	-	108	-	-	-	-
200	1120	39,2	80	930	92,5	770	104,5	-	-
250	1670	34,3	71,4	1460	80,2	1310	90	1050	103,5
300	2250	31,6	65,8	2000	73	1850	80,3	1580	91,4
350	2830	29,8	62	2580	68	2360	73,5	2100	82,3
400	3400	28,2	58,8	3140	64,4	2900	69	2630	76,2
450	4020	26,9	56,4	3740	61,2	3500	65,4	3160	71,5
500	4610	25,8	53,8	4330	58,4	4080	62,5	3710	67,8
535	5050	25	52,5	4750	56,7	4500	60,5	4120	65,8
600	5850	24,1	51	5520	54,5	5260	57,7	4870	62,6
700	7130	22,9	49	6760	52	6470	54,8	6000	59,2
800	8450	21,8	47	8050	49,7	7700	52,5	7140	56,4
900	9720	20,8	45,2	9300	48	8870	50,5	8300	53,9
1000	11040	20,3	43,7	10570	46	10060	48,5	9500	51,3
1100	12330	19,5	42	11850	44,4	11280	46,8	10670	49

Таблица Б.4

Характеристики тягового двигателя ЕД 141У1($\mu=3,865$; $D_k=1250$ мм; $U_d=1500$ В)

I_d , А	П3			О31 (75%)		О32 (55%)		О33 (43%)		
	$F_{кл}$, Н	v , км/год			$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год
		С	СП	П						
200	11375	20,8	43,4	89	8400	103,6	-	-	-	-
250	17325	18,3	38,8	79,1	13825	90,8	9625	101,6	-	-
300	22925	16,3	34,6	70,4	19425	79,5	16625	90,4	14700	100,6
350	29050	14,5	30,8	64,2	25375	71,6	21875	81,6	19775	90,4
400	34650	13,3	28,6	57,8	30800	66,4	27125	74,4	25200	81,0
450	40425	12,1	26,7	55,6	36400	62,9	32900	69,2	30975	74,4
500	46550	11,5	25,0	53,1	42175	59,8	38675	65,6	36575	69,3
520	49175	11,2	24,6	52,4	44800	58,5	41125	63,9	39025	67,2
550	52850	11,0	24,3	51,6	48300	57,0	44450	62,2	42350	65,2
565	54950	10,8	24,1	51,2	50225	56,4	46375	61,3	44275	64,3
582	57225	10,5	23,8	50,8	52500	55,6	48475	60,5	46200	63,3
600	59675	10,4	23,7	50,4	54775	55,0	50575	59,6	48300	62,4
650	65975	10,2	23,2	49,6	61250	53,3	56875	57,5	51275	60,6
700	72625	10,1	22,7	48,8	67550	52,4	63175	56,2	59850	59,0

Таблица Б.5

Характеристики тягового двигателя ЕД 143У1 ($\mu=2,41$; $D_k=1250$ мм; $U_d=1500$ В)

I_d , А	ПЗ				О31 (85%)		О32 (72%)		О33 (63%)	
	$F_{кл}$, Н	v , км/год			$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год
		С	СП	П						
250	7869	36,6	75,4	153,0	-	-	-	-	-	-
270	9474,2	33,9	70,2	142,6	7895	165,5	-	-	-	-
300	11080	31,3	65,0	132,3	9670	151,1	-	-	-	-
350	14328	28,1	58,8	120,0	12809	134,3	11136	154,0	-	-
370	15976,4	27,1	56,7	115,9	14451,9	128,4	12666,1	146,5	10903	147,9
400	17625	26,0	54,6	111,8	16095	122,6	14196	139,0	12666	155,3
500	24347	23,1	49,1	101,3	22610	109,3	20595	120,1	18783	131,8
555	28317	21,8	46,7	96,6	26234	104,5	23800	114,0	22373	122,9
590	30629	21,2	45,8	94,9	28622	101,8	26422	110,5	24486	119,3
700	37870	19,8	43,5	90,7	36348	94,8	33739	102,3	31622	109,3
800	44867	18,6	41,5	87,2	42867	91,5	40803	96,4	38224	103,0

Таблица Б.7

Характеристики тягового двигателя ТЛ-2К ($\mu=3,83$; $D_k=1250$ мм; $U_d=1500$ В)

I_d , А	ПЗ			О31 (75%)		О32 (55%)		О33 (43%)	
	$F_{кл}$, кгс	v , км/год		$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год
		СП	П						
150	810	45,1	87,5	-	-	-	-	-	-
200	1400	35,4	70,6	1070	89,0	-	-	-	-
250	2040	31,4	63,9	1620	76,2	1250	95,2	850	-
300	2610	28,6	58,0	2200	67,2	1810	83,8	1400	98,1
350	3300	26,7	54,5	2860	61,8	2400	74,3	2000	88,1
400	3950	25,4	52,2	3540	57,3	3000	67,5	2580	78,9
480	4970	23,8	48,7	4570	53,5	4000	60,2	3520	68,8
550	5950	22,5	46,7	5530	50,5	4930	56,5	4400	62,9
600	6650	21,8	45,4	6220	49,1	5560	54,7	5030	60,2
700	8000	20,8	43,6	7570	46,4	6830	51,6	6250	55,9
800	9360	19,8	41,8	8900	44,5	8120	48,8	7460	52,5

Таблица Б.8

Характеристики тягового двигателя НБ-406 ($\mu=3,9$; $D_k=1200$ мм; $U_d=1500$ В)

I_d , А	ПЗ				О31 (75%)		О32 (55%)		О33 (43%)	
	$F_{кл}$, кгс	v , км/год			$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год	$F_{кл}$, кгс	v , км/год
		С	СП	П						
100	580	18,6	38,0	77,0	430	100	-	-	-	-
150	1180	14,5	29,9	60,9	1000	72,6	755	94,0	-	-
175	1510	13,4	27,8	56,7	1285	67,0	1030	83,6	840	100
200	1840	12,5	26,3	53,7	1595	62,3	1320	75,8	1090	90,0
250	2520	11,4	24,0	49,6	2220	56,5	1940	65,0	1645	76,0
300	3230	10,5	22,3	46,3	2880	52,4	2560	59,3	2240	67,7
350	3960	9,7	21,0	43,8	3550	49,5	3190	55,4	2850	62,4
400	4720	9,1	20,0	41,9	4260	47,0	3830	52,6	3430	58,9
450	5490	8,6	19,1	40,4	4970	45,2	4480	50,4	4060	56,0
500	6270	8,1	18,4	39,0	5680	43,6	5140	48,6	4690	53,7
600	7940	7,2	17,0	36,8	7160	41,0	6490	45,8	5900	50,5

Додаток В

Основні дані фехралевих резисторів типу КФ

Тривалий струм, А	Потужність елемента при 350 °С, Вт			
	2900	2150	1820	920
	Опір елемента при довжині в мм по вісям кріпільних шпильок, Ом			
	780	600	520	290
103	0,265	0,2	0,165	0,077
95	-	0,24	0,205	0,102
77	-	0,368	0,308	0,155
62	-	0,57	0,49	0,23
52	1,05	0,79	0,67	0,32
47	-	1,00	0,85	0,42
39	-	1,45	1,23	0,6
33	-	2,00	1,70	0,84

Додаток Г
Технічні дані діодів низкочастотних таблеточної конструкції

Параметр	Тип діода				
	B2-320	B500	B800	B7-200	B2-1600
Граничний струм, А	320	500	800	200	1600
Температура корпусу, °С	100	100	100	150	125
Граничний струм, А, з типовим охолоджувачем при температурі охолоджуючого повітря 40°С і швидкості обдува, м/с:					
0	120	200	280	-	-
6	265	410	635	-	-
12	320	500	720	-	-
Напруга, В :					
– що повторюється	150-4000	150-3800	150-2400	-	300-1600
– що неповторюється	175 4400	175-4400	175-2800	-	-
Рекомендована робоча	100-2600	-	100-1600	-	-
Пряме падіння напруги, В	0,8	0,9	0,75	-	-
Зворотний струм, мА	20	30	20	40	100
Габаритні розміри діода, мм	Ø 56x19	Ø 73x22	Ø 77x22	Ø 30x10	Ø 88x24
Маса діода, кг					
- без охолоджувача	0,15	0,31	0,32	0,04	0,4
- с типовим охолоджувачем	3,8	7,0	7,0	-	6,4

Додаток Д
Оптові ціни на діоди

Напруга, що повторюється, В	Ціна діода, грн.			
	В2-320	В500	В800	В2-1600
150	11,7	18,3	18,5	-
200	11,9	18,7	19,0	-
300	12,4	19,5	19,9	106
400	12,8	20,3	20,9	107
500	13,3	21,1	21,8	108
600	13,7	21,9	22,8	109
700	14,2	22,7	23,8	110
800	14,6	23,5	24,7	111
900	15,1	24,3	25,7	112
1000	15,5	25,1	26,6	113
1100	16,0	25,9	27,6	114
1200	16,4	26,7	28,5	116
1300	16,9	27,5	29,5	117
1400	17,3	28,3	30,4	118
1600	18,2	30,0	32,4	120
1800	19,1	31,6	34,3	-
2000	20,0	33,2	36,2	-
2200	20,9	34,8	38,1	-
2400	21,8	36,4	40,0	-
2600	22,7	38,0	-	-
2800	23,6	39,6	-	-
3000	24,5	41,2	-	-
3200	25,5	42,9	-	-
3400	26,4	44,5	-	-
3600	27,3	46,1	-	-
3800	28,2	47,7	-	-
4000	29,1	-	-	-

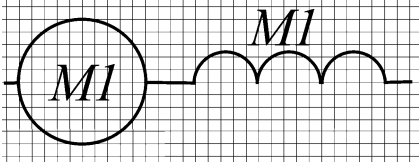
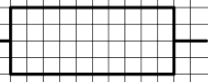

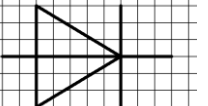
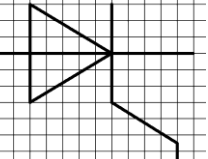



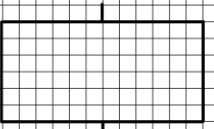
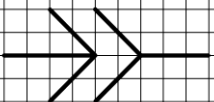
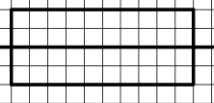
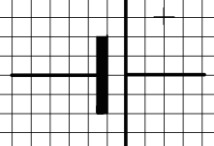
Додаток Е

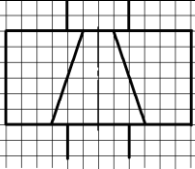
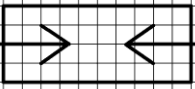
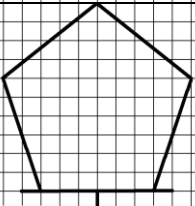
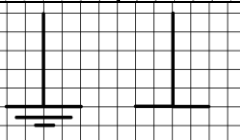
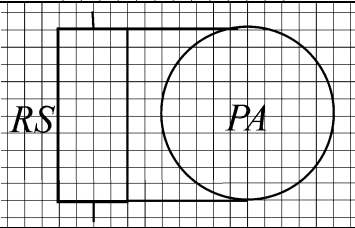
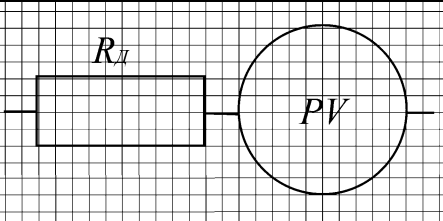
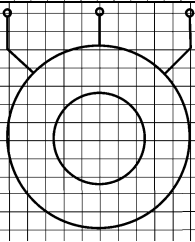
Приклад оформлення таблиці уставок захисної апаратури

Причини спрацювання захисту	Захисний апарат	Параметр захисту	Величина настройки захисту	Кінцевий результат дії захисту
Атмосферні перенапруження	Розрядник РМВУ-33 (48-2)	Порогове значення напруги	Удоп=4200 В Упр=9,5-10,5 кВ	Відведення перенапруги на корпус електровоза
Коротке замикання в режимі тяги кола тягових двигунів	Дифреле ДНВ при малих струмах (52-1) Швидкодіючий вимикач	Небаланс струмів	100 А	Розрив силового кола з відключенням ШВ (51-1)
		Струм уставки	3100_{-50}^{+100} А	Розрив силового кола
Кола допоміжних машин	БВЗ-2 (53-2), БВЗ-ЦНП	Струм дифзахисту, струм уставки	$I_{НЕБАЛ} = 50^{+20}$ А, $I_Y = 400_{-80}^{+80}$ А	Відключення силового кола допоміжних машин
Коротке замикання в режимі рекуперації	Швидкодіючий контактор БК-2Б (301-1,2), (302-1,2)	Струм включення, струм відключення	30...35 А 6...10 А	Відключення БВ-1. Відключається ПГ1 і ПГ2, в коло ТЕД вводяться додаткові опори
Пробій на землю ізоляції ТЕД	Дифреле (52-1), БВ-1 (51-1) БВЗ-2 (53-2)	Небаланс струмів, струм уставки, струм дифзахисту	100 А 3100_{-50}^{+100} А $I_{НЕБАЛ} = 50^{+20}$ А	Відключення ШВ, розрив силового кола
Пробій на землю ізоляції допоміжних машин	БВЗ-ЦНП (53-2)	Струм уставки	300 А	Відключення силового кола допоміжних машин
Перевантаження ТЕД	Реле перевантаження РТ-502 (65-1,2)	Струм уставки	750^{+30} А	Знімається ПЗ, спрацьовує сигналізація, відключається ШВ
Боксування і юз	Реле боксування РБ-4М Датчик боксування ДБ-018, 019	Струм уставки	0,007-0,0075 А	Включення сигналізації, подача піску під 1, 5 колісну пару, відключення ШВ.
		Струм уставки	0,0005 А	

Додаток Ж

Умовні графічні позначення у схемах

Найменування	Умове графічне позначення	Позначення згідно з ГОСТ 2.755-87
Обмотка якоря колекторного тягового двигуна з послідовною обмоткою збудження		M
Резистор постійного опору		R
Конденсатор постійної ємності		C
Діод		VD
Тиристор		VS
Вимикач однополюсний, що має замикаючий контакт із дугогасінням		QS
Вимикач однополюсний, що має розмикаючий контакт із дугогасінням		QS
Перемикаючий контакт без дугогасіння		QS
Котушка реле		K
Контакт роз'ємного контактного з'єднання		X
Запобіжник		FU
Акумуляторна батарея		GB

Диференційне реле		F
Розрядник		F
Струмоприймач		XA
Заземлення (з'єднання з корпусом)		Q
Коло амперметра		PA
Коло вольтметра		PV
Асинхронний двигун		M